

## 明 細 書

### プラズマ処理装置

#### 技術分野

- [0001] 本発明は一般にプラズマ処理装置に係り、特にマイクロ波プラズマ処理装置に関する。
- [0002] プラズマ処理工程およびプラズマ処理装置は、近年のいわゆるディープサブミクロン素子あるいはディープサブクォーターミクロン素子と呼ばれる $0.1\mu\text{m}$ に近い、あるいはそれ以下のゲート長を有する超微細化半導体装置の製造や、液晶表示装置を含む高解像度平面表示装置の製造にとって、不可欠の技術である。
- [0003] 半導体装置や液晶表示装置の製造に使われるプラズマ処理装置としては、従来より様々なプラズマの励起方式が使われているが、特に平行平板型高周波励起プラズマ処理装置あるいは誘導結合型プラズマ処理装置が一般的である。しかしこれら従来のプラズマ処理装置は、プラズマ形成が不均一であり、電子密度の高い領域が限定されているため大きな処理速度すなわちスループットで被処理基板全面にわたり均一なプロセスを行うのが困難である問題点を有している。この問題は、特に大径の基板を処理する場合に深刻になる。しかもこれら従来のプラズマ処理装置では、電子温度が高いため被処理基板上に形成される半導体素子にダメージが生じ、また処理室壁のスパッタリングによる金属汚染が大きいなど、いくつかの本質的な問題を有している。このため、従来のプラズマ処理装置では、半導体装置や液晶表示装置のさらなる微細化およびさらなる生産性の向上に対する厳しい要求を満たすことが困難になりつつある。
- [0004] 一方、従来より直流磁場を用いずにマイクロ波電界により励起された高密度プラズマを使うマイクロ波プラズマ処理装置が提案されている。例えば、均一なマイクロ波を発生するように配列された多数のスロットを有する平面状のアンテナ（ラジアルラインスロットアンテナ）から処理容器内にマイクロ波を放射し、このマイクロ波電界により真空容器内のガスを電離してプラ

ズマを励起させる構成のプラズマ処理装置が提案されている。

- [0005] このような手法で励起されたマイクロ波プラズマではアンテナ直下の広い領域にわたって高いプラズマ密度を実現でき、短時間で均一なプラズマ処理を行うことが可能である。しかもかかる手法で形成されたマイクロ波プラズマではマイクロ波によりプラズマを励起するため電子温度が低く、被処理基板のダメージや金属汚染を回避することができる。さらに大面積基板上にも均一なプラズマを容易に励起できるため、大口径半導体基板を使った半導体装置の製造工程や大型液晶表示装置の製造にも容易に対応できる。

### 背景技術

- [0006] 図 1 A、図 1 Bは、かかるラジアルラインスロットアンテナを使った従来のマイクロ波プラズマ処理装置 1 0 0の構成を示す。ただし図 1 Aはマイクロ波プラズマ処理装置 1 0 0の断面図を、また図 1 Bはラジアルラインスロットアンテナの構成を示す図である。
- [0007] 図 1 Aを参照するに、マイクロ波プラズマ処理装置 1 0 0は複数の排気ポート 1 1 6から排気される処理室 1 0 1を有し、前記処理室 1 0 1中には被処理基板 1 1 4を保持する保持台 1 1 5が形成されている。前記処理室 1 0 1の均一な排気を実現するため、前記保持台 1 1 5の周囲にはリング状に空間 1 0 1 Aが形成されており、前記複数の排気ポート 1 1 6を前記空間 1 0 1 Aに連通するように等間隔で、すなわち被処理基板に対して軸対称に形成することにより、前記処理室 1 0 1を前記空間 1 0 1 Aおよび排気ポート 1 1 6を介して均一に排気することができる。
- [0008] 前記処理室 1 0 1上には、前記保持台 1 1 5上の被処理基板 1 1 4に対応する位置に、前記処理室 1 0 1の外壁の一部として、低損失誘電体よりなり多数の開口部 1 0 7を形成された板状のシャワープレート 1 0 3がシールリング 1 0 9を介して形成されており、さらに前記シャワープレート 1 0 3の外側に同じく低損失誘電体よりなるカバープレート 1 0 2が、別のシールリング 1 0 8を介して設けられている。
- [0009] 前記シャワープレート 1 0 3にはその上面にプラズマガスの通路 1 0 4が

形成されており、前記複数の開口部 107 の各々は前記プラズマガス通路 104 に連通するように形成されている。さらに、前記シャワープレート 103 の内部には、前記処理容器 101 の外壁に設けられたプラズマガス供給ポート 105 に連通するプラズマガスの供給通路 106 が形成されており、前記プラズマガス供給ポート 105 に供給された Ar や Kr 等のプラズマガスは、前記供給通路 106 から前記通路 104 を介して前記開口部 107 に供給され、前記開口部 107 から前記処理容器 101 内部の前記シャワープレート 103 直下の空間 101B に、実質的に一様な濃度で放出される。

[0010] 前記処理容器 101 上には、さらに前記カバープレート 102 の外側には図 1B に示す放射面を有するラジアルラインスロットアンテナ 110 が設けられている。前記ラジアルラインスロットアンテナ 110 は外部のマイクロ波源（図示せず）に同軸導波管 110A を介して接続されており、前記マイクロ波源からのマイクロ波により、前記空間 101B に放出されたプラズマガスを励起する。前記カバープレート 102 とラジアルラインスロットアンテナ 110 の放射面との間の隙間は大気により充填されている。

[0011] 前記ラジアルラインスロットアンテナ 110 は、前記同軸導波管 110A の外側導波管に接続された平坦なディスク状のアンテナ本体 110B と、前記アンテナ本体 110B の開口部に形成された、図 1B に示す多数のスロット 110a およびこれに直交する多数のスロット 110b を形成された放射板 110C とよりなり、前記アンテナ本体 110B と前記放射板 110C との間には、厚さが一定の誘電体板よりなる遅波板 110D が挿入されている。

[0012] かかる構成のラジアルラインスロットアンテナ 110 では、前記同軸導波管 110A から給電されたマイクロ波は、前記ディスク状のアンテナ本体 110B と放射板 110C との間を、半径方向に広がりながら進行するが、その際に前記遅波板 110D の作用により波長が圧縮される。そこで、このようにして半径方向に進行するマイクロ波の波長に対応して前記スロット 110a および 110b を同心円状に、かつ相互に直交するように形成しておく

ことにより、円偏波を有する平面波を前記放射板 110C に実質的に垂直な方向に放射することができる。

[0013] かかるラジアルラインスロットアンテナ 110 を使うことにより、前記シャワープレート 103 直下の空間 101B に均一な高密度プラズマが形成される。このようにして形成された高密度プラズマは電子温度が低く、そのため被処理基板 114 にダメージが生じることがなく、また処理容器 101 の器壁のスパッタリングに起因する金属汚染が生じることもない。

[0014] 図 1A のプラズマ処理装置 100 では、さらに前記処理容器 101 中、前記シャワープレート 103 と被処理基板 114 との間に、導体よりなる処理ガス供給部 111 が設置されている。前記処理ガス供給部 111 は、その内部に、外部の処理ガス源（図示せず）に接続され、前記処理容器 101 中に形成された処理ガス通路 112 と連通する処理ガス通路 111B が形成されている。前記処理ガス供給部 111 には、前記処理ガス通路 111B に連通するガス穴 111b が多数形成されており、前記ガス穴 111b の各々は、供給された処理ガスを、前記処理ガス供給部 111 と被処理基板 114 との間の空間 101C に放出する。

[0015] 前記処理ガス供給部 111 には、隣接する複数のガス穴 111b の間に、前記空間 101B において形成されたプラズマを前記空間 101B から前記空間 101C に拡散により、効率よく通過させるような大きさの開口部 111A が形成されている。

[0016] このように前記処理ガス供給部 111 から前記ガス穴 111b を介して処理ガスを前記空間 101C に放出した場合、放出された処理ガスは前記空間 101B において形成された高密度プラズマにより励起される。

[0017] しかし、図 1A のプラズマ処理装置 100 では前記処理ガス供給部 111 は高密度プラズマに起因する大量の熱フラックスに曝されるため、温度が上昇してしまう問題点を有している。このため、例えば前記処理ガス供給部に冷媒通路を設けることで、前記処理ガス供給部の温度上昇を抑制することが提案されている。（例えば特許文献 1 参照。）

特許文献1：WO 02／080249 A 1号公報

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

- [0018] しかし、例えば前記処理ガス供給部 1 1 1 に冷媒通路を設けて冷却する場合、高密度プラズマに起因する大量の熱フラックスによって処理ガス供給部に入熱する入熱量に対して冷却効率が充分ではなく、処理ガス供給部の温度上昇の抑制が不十分となり、処理ガス供給部の温度が上昇してしまう問題が生じていた。
- [0019] さらに、冷却に用いる冷媒の使用によってプラズマ処理装置のランニングコストが上昇し、プラズマ処理装置の生産性が低下してしまう問題が生じていた。
- [0020] そこで、本発明では上記の問題を解決した、新規で有用なプラズマ処理装置を提供することを課題としている。
- [0021] 本発明の具体的な課題は、プラズマ処理装置の処理ガス供給部の冷却効率を向上させ、当該処理ガス供給部の温度上昇を抑制したプラズマ処理装置を提供することである。
- [0022] 本発明の別の課題は、プラズマ処理装置の処理ガス供給部の冷却にかかるコストを低減し、プラズマ処理装置のランニングコストを低減することである。

### 課題を解決するための手段

- [0023] 本発明の第 1 の観点では、上記の課題を、被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、前記処理容器上に、被処理基板に対面するように設けられたマイクロ波アンテナと、前記保持台上の被処理基板と前記マイクロ波アンテナとの間に、前記被処理基板に対面するように設けられた処理ガス供給部とを備えたプラズマ処理装置であって、前記処理ガス供給部は、前記処理容器内に形成されたプラズマを通過させる複数の第 1 の開口部と、処理ガス源に接続可能な処理ガス通路と、前記処理ガス通路に連通した複数の第 2 の開口部と、当該処理ガス供給部を冷却する冷却媒体が流れる冷却媒体通路を

備え、前記冷却媒体は冷却ガスとミストを含むことを特徴とするプラズマ処理装置により、解決する。

- [0024] また、本発明の第2の観点では、上記の課題を、被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、前記処理容器上に、被処理基板に対面するように設けられたマイクロ波アンテナと、前記保持台上の被処理基板と前記マイクロ波アンテナとの間に、前記被処理基板に対面するように設けられた処理ガス供給部とを備えたプラズマ処理装置であって、前記処理ガス供給部は、前記処理容器内に形成されたプラズマを通過させる複数の第1の開口部と、処理ガス源に接続可能な処理ガス通路と、前記処理ガス通路に連通した複数の第2の開口部と、当該処理ガス供給部を冷却する冷却媒体が流れる冷却媒体通路を備え、前記冷却媒体通路には、前記冷却媒体を循環させる冷却媒体循環装置が接続されることを特徴とするプラズマ処理装置により、解決する。

### 発明の効果

- [0025] 本発明によれば、マイクロ波プラズマを用いたプラズマ処理装置において、プラズマ処理装置の処理ガス供給部の冷却効率を向上させ、当該処理ガス供給部の温度上昇を抑制することが可能になる。
- [0026] また、プラズマ処理装置の処理ガス供給部の冷却にかかるコストを低減し、プラズマ処理装置のランニングコストを低減することが可能となる。

### 図面の簡単な説明

- [0027] [図1A] 従来のマイクロ波プラズマ処理装置の構成を示す図である。
- [図1B] 図1Aのプラズマ処理装置に用いられるスロット板を示す平面図である。
- [図2] 実施例1によるマイクロ波プラズマ処理装置の構成を示す図である。
- [図3] 図2のプラズマ処理装置に用いられるスロット板を示す平面図である。
- [図4A] 図2のプラズマ処理装置に用いられる処理ガス供給部の断面図（その1）である。
- [図4B] 図2のプラズマ処理装置に用いられる処理ガス供給部の断面図（その2）である。

[図4C] 図 4 B の処理ガス供給部の断面図である。

[図5A] 処理ガス供給部の製造方法を手順を追って示した図（その 1）である

。

[図5B] 処理ガス供給部の製造方法を手順を追って示した図（その 2）である

。

[図5C] 処理ガス供給部の製造方法を手順を追って示した図（その 3）である

。

[図6] 図 2 のプラズマ処理装置の変形例を示す図（その 1）である。

[図7] 図 2 のプラズマ処理装置の変形例を示す図（その 2）である。

[図8] 図 7 のプラズマ処理装置の変形例を示す図である。

### 発明を実施するための最良の形態

[0028] 次に本発明の実施の形態に関して説明する。

#### 実施例 1

[0029] 図 2 は本発明の実施例 1 によるプラズマ処理装置 10 の構成を概略的に示したものである。

[0030] 図 2 を参照するに、前記プラズマ処理装置 10 は、複数の排気ポート 11 D から排気される処理容器 11 と、前記処理容器 11 内に設けられ、被処理基板 12 を静電チャックにより保持する、図示しないヒータが埋設された保持台 13 とを有する。

[0031] 前記処理容器 11 は好ましくは A1 を含有するオーステナイトステンレス鋼よりなり、内壁面には酸化処理により酸化アルミニウムよりなる保護膜が形成されている。また前記処理容器 11 の外壁のうち前記被処理基板 12 に対応する部分にはマイクロ波を透過するマイクロ波透過窓 17 が設置され、また前記マイクロ波透過窓 17 と前記処理容器 11 の間には、プラズマガスを導入するプラズマガス導入リング 14 が挿入されて、それぞれ前記処理容器 11 の外壁を画成している。

[0032] 前記マイクロ波透過窓 17 はその周縁部に段差形状を有し、当該段差形状部が前記プラズマガス導入リング 14 に設けられた段差形状と係合し、さら

にシールリング 16 A によって前記処理空間 11 内の気密が保持される構造となっている。

[0033] 前記プラズマガス導入リングには、ガス導入部 43 が接続されて、当該ガス導入部 43 より例えば Ar などのプラズマガスが導入され、プラズマガスは前記ガス導入リング 14 の内部に略環状に形成されたガス溝 14 B 中を拡散する。前記ガス溝 14 B 中のプラズマガスは、前記ガス溝 14 B に連通する複数のプラズマガス穴 14 C から、後述する処理ガス供給部 30 と前記マイクロ波透過窓 17 の間の処理空間 11 A に供給される。

[0034] 前記マイクロ波透過窓 17 上には、前記マイクロ波透過窓 17 に密接し図 3 に示す多数のスロット 18 a, 18 b を形成されたディスク状のスロット板 18 と、前記スロット板 18 を保持するディスク状のアンテナ本体 22 と、前記スロット板 18 と前記アンテナ本体 22 との間に挟持された  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  あるいは  $\text{Si}_3\text{N}_4$  の低損失誘電体材料よりなる遅波板 19 とにより構成されたラジアルラインスロットアンテナ 25 が設けられている。

[0035] 前記ラジアルスロットラインアンテナ 25 は前記処理容器 11 上に前記プラズマガス導入リング 14 を介して装着されており、前記ラジアルラインスロットアンテナ 25 には同軸導波管 21 を介して外部のマイクロ波源（図示せず）より周波数が 2.45 GHz あるいは 8.3 GHz のマイクロ波が供給される。

[0036] 供給されたマイクロ波は前記スロット板 18 上のスロット 18 a, 18 b から前記マイクロ波透過窓 17 を介して前記処理容器 11 中に放射され、前記マイクロ波透過窓 17 直下の空間 11 A において、前記プラズマガス穴 14 C から供給されたプラズマガス中にプラズマを励起する。

[0037] 前記ラジアルラインスロットアンテナ 25 と前記プラズマガス導入リングの間はシールリング 16 B によって密封されている。

[0038] 前記同軸導波管 21 のうち、外側の導波管 21 A は前記ディスク状のアンテナ本体 22 に接続され、中心導体 21 B は、前記遅波板 19 に形成された開口部を介して前記スロット板 18 に接続されている。そこで前記同軸導波



管 2 1 に供給されたマイクロ波は、前記アンテナ本体 2 2 とスロット板 1 8 との間を径方向に進行しながら、前記スロット 1 8 a, 1 8 b より放射される。

[0039] 図 3 は前記スロット板 1 8 上に形成されたスロット 1 8 a, 1 8 b を示す。

[0040] 図 3 を参照するに、前記スロット 1 8 a は同心円状に配列されており、各々のスロット 1 8 a に対応して、これに直行するスロット 1 8 b が同じく同心円状に形成されている。前記スロット 1 8 a, 1 8 b は、前記スロット板 1 8 の半径方向に、前記遅波板 1 9 により圧縮されたマイクロ波の波長に対応した間隔で形成されており、その結果マイクロ波は前記スロット板 1 8 から略平面波となって放射される。その際、前記スロット 1 8 a および 1 8 b を相互の直交する関係で形成しているため、このようにして放射されたマイクロ波は、二つの直交する偏波成分を含む円偏波を形成する。

[0041] さらに図 2 のプラズマ処理装置 1 0 では、前記アンテナ本体 2 2 上に、冷却水通路 2 0 A を形成された冷却ブロック 2 0 が形成されており、前記冷却ブロック 2 0 を前記冷却水通路 2 0 A 中の冷却水により冷却することにより、前記マイクロ波透過窓 1 7 に蓄積された熱を、前記ラジアルラインスロットアンテナ 2 5 を介して吸収する。

[0042] 本実施例によるプラズマ処理装置 1 0 では、前記処理容器 1 1 中、前記マイクロ波透過窓 1 7 と前記保持台 1 3 上の被処理基板 1 2 との間に、前記被処理基板に対面するように、導体からなる処理ガス供給部 3 0 が、前記処理容器 1 1 の外壁の一部に保持されるようにして設置されている。

[0043] 前記処理ガス供給部 3 0 では、処理ガスが導入される処理ガス通路 3 4 が内部に形成された、格子状のガス拡散部 3 1 が設けられ、当該ガス拡散部 3 1 の間には、例えば略正形状の穴部 3 2 が形成されている。前記ガス拡散部 3 1 の内部には、処理ガスが導入され、格子状の前記処理ガス通路 3 4 を処理ガスが拡散する構造になっている。前記処理ガス供給部 3 0 は、例えば Mg を含んだ Al 合金や Al 添加ステンレススチール等の導電体より構成さ

れる。

[0044] 前記ガス拡散部 31 には、前記処理ガス通路 34 から、前記処理ガス供給部 30 と被処理基板 12 の間の空間 11B に連通するガス穴 34A が多数形成されている。前記ガス穴 34A の各々は、前記処理ガス通路 34 に供給された処理ガスを、前記空間 11B に放出する。

[0045] 前記穴部 32 は、前記空間 11A において形成されたプラズマを前記空間 11A から前記空間 11B に拡散により、効率よく通過させるような大きさであり、前記ガス穴 34A から処理ガスを前記空間 11B に放出した場合、放出された処理ガスは前記空間 11A において形成された高密度プラズマにより励起され、前記被処理基板 12 上に、一様なプラズマ処理が、効率的かつ高速に、しかも基板および基板上の素子構造を損傷させることなく、また基板を汚染することなく行われる。一方前記ラジアルラインスロットアンテナ 25 から放射されたマイクロ波は、導体よりなる前記処理ガス供給部 30 により阻止され、被処理基板 12 を損傷させることはない。

[0046] 前記処理ガス通路には、前記処理容器 11 内に設けられた処理ガス通路 11c を介して処理ガスが導入される。また、前記処理ガス通路 11c は、前記プラズマガスリング 14 内に設けられた処理ガス通路 14c に連通し、当該処理ガス通路 14c は、処理ガス導入部 42 を介して処理ガス供給源（図示せず）に接続され、処理ガス G1 が供給される構造になっている。

[0047] 本実施例に示すプラズマ処理装置 10 の場合、前記空間 11A で形成される、マイクロ波を用いた高密度プラズマに起因する大量の熱フラックスが前記処理ガス供給部 30 に導入される構造となっている。そこで、本実施例では、前記処理ガス供給部 30 を冷却する冷却媒体通路 33 を設けて、当該処理ガス 30 の温度上昇を抑制している。

[0048] 前記処理ガス供給部 30 には、前記処理ガス拡散部 31 の内部に、当該処理ガス供給部 30 を冷却する、冷却媒体 C2 が流れる冷却媒体通路 33 が形成されている。

[0049] 前記冷却媒体 C2 は、前記処理容器 11 内に設けられた冷却媒体通路 11

aを介して前記冷却媒体通路33に導入される。また、前記冷却媒体通路11aは、前記プラズマガスリング14内に設けられた冷却媒体通路14aに連通し、当該冷却媒体通路14aには、冷却媒体混合器40が接続されて、当該冷却媒体混合器40から冷却媒体C2を当該冷却媒体通路33に供給する構造になっている。

[0050] 前記冷却媒体混合器40は、混合部44とミスト発生源45からなる。前記混合部44には、図示しない冷却ガス源に接続された、冷却ガス導入口41Aが接続され、冷却ガスC1が供給される。

[0051] 前記ミスト発生源45には、図示しない $H_2O$ 供給源に接続された、 $H_2O$ 導入口45Aが接続されて、前記ミスト発生源45に $H_2O$ が供給される。前記ミスト発生源45では、例えば超音波などを用いて、供給される $H_2O$ を霧状としてミストを発生させ、前記混合器44に供給する。この場合、ミストとは、液体の状態にある $H_2O$ が、細かい粒状とされたものを意味している。当該ミストは、例えば冷却ガスなどと混合されて、当該冷却ガス中に漂うようにして液体の状態で存在する。

[0052] 前記混合器44ではミストと前記冷却ガスC1を混合することにより、ミストを含む冷却ガスC1よりなる冷却媒体C2を生成して前記処理ガス供給部30の冷却媒体通路33に供給する。このように、本実施例では、処理ガス供給部30を冷却する場合に、冷却ガスにミストを混合した冷却媒体を用いることで、例えば冷却媒体に気体を用いた場合に比べて冷却効率を向上させることが可能となり、処理ガス供給部30を効率的に冷却して温度上昇を抑制することが可能となる。これは、冷却媒体C2中に存在する、液体状態にあるミストが加熱され、蒸発して気相状態となる場合に気化熱を奪うことで、効率的に処理ガス供給部が冷却されるためである。

[0053] 本実施例による、ミストを含む冷却媒体C2を用いて冷却することで、ミストを含まない冷却ガスのみを用いた場合に比べて冷却効率が向上することが確認され、例えばマイクロ波を3kW導入した場合で、冷却ガスに空気を50l/min用いた場合、ミストを添加しない場合に比べて、ミストを添

加した場合には前記処理ガス供給部の温度が25%低下した効果が確認された。

[0054] 例えば、プラズマガスにAr、処理ガスに $C_5F_8$ などのフロロカーボン系のガスを用いて、前記被処理基板にフッ素添加カーボン膜（ $C_xF_y$ 膜と表記する場合もある、以下文中CF膜と表記する）を形成する場合、マイクロ波を、例えば2〜3kW導入する。

[0055] この場合、前記基板保持台13をヒータにより300℃〜400℃程度に加熱することにより、前記被処理基板12を300℃〜400℃程度に保持する。また、前記ラジアルラインスロットアンテナ25は、前記冷却水通路20Aによって前記冷却ブロック20を介して冷却されるため、100℃程度に維持される。

[0056] この場合、前記処理ガス供給部30には、前記保持体13および被処理基板12から輻射により熱が供給され、またマイクロ波プラズマが励起されることで発生する熱がさらに供給されるために、大量の熱が供給されることになる。そのため、前記処理ガス供給部30を冷却するためには、効率よい冷却を行って冷却量を大きくすることが好ましい。

[0057] 本実施例では、ミストを含む冷却媒体を用いているため、冷却効率が向上し、上記の条件下においても前記処理ガス供給部の温度を、100℃〜200℃程度に保持することが可能となっている。

[0058] 例えば前記処理ガス供給部30を、AlまたはAl合金を用いて構成する場合には、当該処理ガス供給部30の温度が200℃以上となると、処理ガス供給部の変形など熱による問題が生じる可能性があるため、当該処理ガス供給部30の温度は200℃以下にすることが好ましい。

[0059] また、例えばCF膜の成膜処理によって前記処理ガス供給部30に膜が付着した場合、マイクロ波プラズマによるプラズマクリーニングによって除去する方法があるが、クリーニング速度（CF膜がエッチングされる速度）は、CF膜の温度、すなわち当該処理ガス供給部の温度に略依存する。例えばクリーニングガスに $O_2$ や $H_2$ を用いたCF膜のプラズマクリーニングを行う場

合、クリーニング速度を向上させるために、処理ガス供給部30の温度は100℃以上とすることが好ましい。

[0060] また、例えば冷却媒体に液体を用いた場合、上記の理由から当該冷却媒体を100～200℃程度に維持するためには高価な設備が必要となり、また100℃以上の液体を導入する場合には、当該液体を導入する配管設備などの安全を確保することが困難な場合があり、設備が高価で複雑になることは避けられない。

[0061] そこで、本実施例では、冷却ガスとミストを混合することで、単純な構造で容易に処理ガス供給部の冷却効率を向上させることを可能としている。そのため、処理ガス供給部の冷却にかかるコストを抑制することが可能となる。

[0062] このようにして、処理ガス供給部30を冷却した冷却媒体は、前記処理容器11内に形成された冷却媒体通路11bから、前記プラズマガスリング14内に形成された冷却媒体通路14bを介して、冷却媒体排出ライン41Bより排出される構造になっている。

[0063] また、プラズマガスリング14に形成された、前記ガス溝14Bと、前記冷却媒体通路14a、14bは、連通しない構造としている。

[0064] また、本実施例では、前記冷却媒体通路33を流れる冷却媒体の冷却効率を上げるために、冷却媒体が乱流状態となりやすいよう、冷却ガスC1として動粘度が小さいSF<sub>6</sub>を用いている。SF<sub>6</sub>は動粘度が小さいため、低流量で乱流が発生する条件となる。

[0065] また、冷却ガスは、SF<sub>6</sub>のほかにも、例えばAr、He、N<sub>2</sub>、空気などを用いることが可能である。

[0066] また、必要に応じて、冷却ガスにミストを添加しない状態で用いることも可能である。例えば、マイクロ波電力が小さく、発生する熱量が小さい場合には、冷却媒体にミストを添加せず、例えば、SF<sub>6</sub>、Ar、He、N<sub>2</sub>、空気などの冷却ガスを用いて処理ガス供給部を冷却することが可能である。

[0067] また、前記処理ガス供給部30に、図示しない処理ガス供給部可動手段を

取り付けることによって当該処理ガス供給部 30 の位置を変更することもできる。例えば、前記処理ガス供給部 30 を、前記マイクロ波透過窓 17 に近づく方向、または遠ざかる方向に平行に移動させることによって、前記マイクロ波透過窓 17 と当該処理ガス供給部 30 の距離  $L_1$  または被処理基板と当該処理ガス供給部 30 の距離  $L_2$  を最適化することが可能となる。また、前記距離  $L_2$  を変更する場合には、前記保持台 13 を可動させてもよい。

[0068] その場合、例えば前記空間 11A に励起されるマイクロ波プラズマの状態を最適化することが可能となり、また空間 11B への処理ガスの供給状態を最適化して、基板処理を最適化することが可能となる効果を奏する。

## 実施例 2

[0069] 次に、図 2 に示した前記処理ガス供給部 30 の詳細について示す。図 4A、図 4B は、それぞれ図 2 に示した処理ガス供給部 30 の X-X 断面、Y-Y 断面を示したものである。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

[0070] まず図 4A を参照するに、前記処理ガス供給部 30 は、前記処理ガス拡散部 31 が格子上に形成されており、当該処理ガス拡散部 31 の内部には、前記処理ガス通路 34 が形成されている。また、処理ガス拡散部と、当該処理ガス拡散部に隣接する処理ガス拡散部の間にはプラズマガスや、励起されたプラズマが通過する穴部 32 が形成されている。

[0071] また、前記処理ガス供給部 30 には、取り付け部 30A および 30B が設けられ、当該取り付け部 30A および 30B によって前記処理ガス供給部 30 は、前記処理容器 11 に取り付けられる構造になっている。

[0072] 前記取り付け部 30A および 30B には、それぞれ処理ガス導入口 34B が設けられており、当該処理ガス導入口 34B から処理ガスが前記処理ガス通路 34 に導入される構造になっている。また、前記処理ガス導入口 34B は、前記処理ガス通路 11c に連通する構造になっている。なお、この連通する構造は図 2 では図示を省略している。

[0073] 次に、図 4B を参照するに、冷却媒体は、前記処理ガス拡散部 31 中に形

成された、冷却媒体通路 33 を流れる構造になっている。当該冷却媒体は、前記取り付け部 30A に設けられた冷却媒体導入口 33A から導入され、前記取り付け部 30A の側から前記取り付け部 30B の側に向かって形成された冷却媒体通路 33 中を流れ、さらに当該取り付け部 30B の側で反転するようにして、冷却媒体はさらに当該取り付け部 30A の方向に向かって形成された冷却媒体通路 33 中を流れ、前記取り付け部 30A に設けられた冷却媒体排出口 33B より排出される構造になっている。

[0074] 前記冷却媒体導入口 33A は、前記処理容器 11 内に形成された前記冷却媒体通路 11a に接続される構造になっている。また、前記冷却媒体排出口は、前記冷却媒体通路 11b に接続される構造になっている。本図では冷却媒体排出口を、前記取り付け部 30A の側に形成したが、これを前記取り付け部 30B の側に形成してもよく、また、取り付け部 30A および 30B の両側に形成することも可能であり、必要に応じて任意に変更することが可能である。同様に冷却媒体導入口を形成する位置も、任意に変更することが可能である。

[0075] また、処理ガス供給部 30 のうち、例えば、特にマイクロ波プラズマによる加熱量が多い部分は、冷却効率を向上させる構造とすると好適である。この場合、特に前記処理ガス供給部 30 の中心部付近は、プラズマによる加熱量が多くなり、温度が上昇しやすい傾向にある。そのため、当該中心部付近、例えば図 4B に示す、中心部 30C に形成される冷却媒体通路は、次に図 4C に示すような構造とすると、冷却効率が向上し、好適である。

[0076] 図 4C は、図 4B に示す処理ガス拡散部 31 の A-A 断面図の一例である。また、本図では、図 4B に示した冷却媒体通路 33 以外は図示を省略している。

[0077] 図 4C を参照するに、本図に示す冷却媒体通路 33 内には、当該冷却媒体通路 33 の内壁面に接する冷却フィン 33a が形成されている。当該冷却フィン 33a が形成されることで、冷却媒体により冷却される面積が増大し、冷却効率が良好となる効果を奏する。また、例えば加熱量が大きい部分にこ

のような冷却フィンを設けることで、処理ガス供給部の温度の均一性を良好とし、温度の不均一による変形などの影響を抑制することが可能となる。

### 実施例 3

- [0078] 次に、図5A、図5B、および図5Cに、前記処理ガス供給部30を製造する方法の概要を、手順を追って示す。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。
- [0079] まず、図5Aに示す工程において、平板上の、例えばAl合金からなるプレート30'に、冷却媒体通路33と処理ガス通路34の加工を施す。
- [0080] 冷却媒体33と処理ガス通路34の加工は、ガンドリル（切削方向に延伸した長さが、通常のドリルより長いもの）を用いて加工を行うと、長い穴形状を加工する場合に好適である。
- [0081] 次に、図5Bに示す工程において、前記穴部32の加工を行って、プラズマやガスの通路となる穴部を形成すると共に、格子状の、処理ガス拡散部31の形成を行う。さらに、処理ガス拡散部に、図2に示した前記ガス穴34Aの加工を行う。
- [0082] 次に、図5Cに示す工程において、前記プレート30'を略円板上に切り出し、切り出した略円板状のプレートを、ドーナツ状の周縁部品30''に嵌合させ、接合部分に電子ビーム溶接加工を施す。さらに前記取り付け部30A、30Bを溶接し、必要に応じて洗浄を行って処理ガス供給部30とする。
- [0083] 従来は、例えば処理ガス通路や冷却媒体通路を形成する場合に、溝状の加工をした部品と、当該部品の蓋部を溶接して形成するなどの方法がとられていたが、この場合、加工工程が複雑になり、製造コストが増大する問題点を有していた。また、処理ガス通路や冷却媒体通路にガスや媒体が滞留する微小な隙間（滞留空間）が形成されてしまう問題が避けられなかった。
- [0084] 本実施例では、ガンドリルを用いて冷却媒体通路と処理ガス通路を形成しているため、加工が容易になり、製造コストを低減することが可能となっている。また、処理ガス通路や冷却媒体通路で滞留空間が形成されることを防



止し、効率的に冷却媒体や処理ガスを供給することが可能となる。

#### 実施例 4

[0085] また、前記処理ガス供給部 30 は、100℃～200℃の温度を維持することが好ましいため、前記処理容器 11 とは熱抵抗を大きくした構造、すなわち断熱構造とすることが好ましい。そこで、前記プラズマ処理装置 10 では、前記処理ガス供給部 30 が取り付けられた部分を、図 6 に示すように変更して用いることが可能である。

[0086] 図 6 は、前記処理ガス供給部 30 が取り付けられた前記処理容器 11 の構造を拡大して模式的に示した断面図である。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

[0087] 図 6 を参照するに、前記処理ガス供給部 30 は、断熱部品 30a と断熱部品 30b を介して前記処理容器 11 に取り付けられる構造となっている。このため、前記処理ガス供給部 30 と前記処理容器 11 の間で熱抵抗が大きくなり、当該処理ガス供給部を 100℃～200℃に維持することが容易となる。

[0088] また、前記断熱部品 30a、30b の材料は、例えば、セラミック ( $Al_2O_3$ 、 $AlN$ 、 $SiC$  など)、また耐熱性を有する樹脂材料 (ポリイミドなど) を用いることが可能である。

#### 実施例 5

[0089] 次に、前記プラズマ処理装置 10 の別の変形例であるプラズマ処理装置 10A を概略的に示したものを、図 7 に示す。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

[0090] 本実施例では、前記処理ガス供給部から排出される冷却媒体を再び当該処理ガス供給部に還流する冷却媒体循環装置 50 が用いられている。前記冷却媒体循環装置 50 は、冷却媒体ライン 51、冷却手段 52、圧縮ポンプ 53、リザーブタンク 54 および冷却媒体調整手段 55 を有している。

[0091] 前記冷却媒体ライン 51 は、前記冷却媒体通路 14a と冷却媒体通路 14b に接続され、前記処理ガス供給部 30 から排出された冷却媒体が、当該冷

却媒体ライン５１によって当該処理ガス供給部３０に還流される構造になっている。

[0092] 前記冷却媒体ライン５１には、圧縮ポンプ５３が設置されて冷却媒体を循環させることを可能としており、さらに圧縮ポンプ５３と処理ガス供給部３０の間には、リザーブタンク５４が設けられている。

[0093] 前記リザーブタンク５４には、圧縮された冷却媒体が保持され、前記処理ガス供給部３０に導入される冷却媒体の流量または圧力の変動量が抑制されるため、処理ガス供給部３０に導入される冷却媒体の流量または圧力が安定する。

[0094] また、前記冷却媒体ラインには、冷却手段５２が設置されている。前記冷却手段５２は、例えば循環水ライン５２ａが接続され、循環水によって前記冷却媒体ライン５１を流れる冷却媒体を冷却する。

[0095] 本実施例によれば、冷却媒体を循環して用いているため、例えばＳＦ<sub>6</sub>などの冷却ガスを循環して用いることが可能となり、冷却ガスを外気に放出する場合と比較して装置のランニングコストが低減されると共に、冷却ガスを放出することによる、環境に与える影響を抑制できる。

[0096] また、前記冷却手段５２を設けたことで冷却ガスの温度を低くし、冷却媒体の冷却効率を向上させることが可能になっている。

[0097] また、本実施例では、さらに冷却媒体ライン５１に、冷却媒体調整手段５５を設けて、冷却媒体による処理ガス供給部の冷却量を調整することを可能としている。前記冷却媒体調整手段５５は、例えば質量流量コントローラなどの流量調整手段からなり、前記処理ガス供給部３０に導入する冷却媒体の流量を調整することによって、冷却媒体による冷却量を調整することが可能になっている。前記冷却媒体調整手段５５は、制御装置５６によって制御されている。前記制御装置５６には、前記処理ガス供給部３０に設置された温度測定手段５７によって計測された温度データが配線部５７ａを介して送られる。前記制御装置５６は、当該温度データに応じて前記冷却媒体調整手段５５を制御し、冷却媒体の流量が調整される機構になっている。

- [0098] 例えば、前記処理ガス供給部 30 の温度が上昇した場合、前記温度測定手段 57 によって測定された温度データに基づき、制御装置 56 が前記冷却媒体調整手段 55 を制御して冷却媒体の流量を増大させるため、前記処理ガス供給部 30 の温度上昇が抑制される。
- [0099] 同様に、記処理ガス供給部 30 の温度が下降した場合、前記温度測定手段 57 によって測定された温度データに基づき、制御装置 56 が前記冷却媒体調整手段 55 を制御して冷却媒体の流量を減少させるため、前記処理ガス供給部 30 の温度の下降が抑制される。
- [0100] このようにして、本実施例では、前記処理ガス供給部 30 の温度が、例えば 100℃～200℃の領域に保持することが可能なようになっている。
- [0101] また、前記冷却媒体調整手段 55 は、流量調整手段に限定されるものではなく、例えばコンダクタンス可変バルブなどの圧力調整手段を用いることも可能であり、流量調整手段と同様の効果を有する。
- [0102] すなわち、前記温度測定手段 57 による温度測定データに応じて前記制御装置 56 が圧力調整手段を制御し、前記冷却媒体通路 33 の圧力を制御して前記処理ガス供給部 30 の冷却量を制御して、処理ガス供給部の温度を制御する。この場合、前記冷却媒体通路 33 の圧力が高いほど冷却媒体の冷却効率が向上する。前記冷却媒体通路 33 の圧力は冷却量を維持するために、0.2～1MPa とするのが好ましい。

## 実施例 6

- [0103] 図 7 に示した実施例 5 では、前記冷却手段 52 によって冷却媒体（冷却ガス）を冷却しているため、図 2 のプラズマ処理装置 10 における冷却媒体混合器 40 を省略した構造となっている。ここで、次に図 8 に示すように、前記プラズマ処理装置 10A に、さらに図 2 に示した前記冷却媒体混合器 40 を用いることで、さらに冷却効率を向上させることが可能になる。
- [0104] 図 8 は、図 7 に示したプラズマ処理装置 10A の変形例であるプラズマ処理装置 10B を概略的に示した図である。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

- [0105] 図8を参照するに、本図に示すプラズマ処理装置10Bでは、前記プラズマ処理装置10Aに、前記冷却媒体混合器40を追加した構造になっている。そのため、本実施例では、実施例1に記載したプラズマ処理装置10の場合と同様の効果を奏し、例えば冷却効率が向上するとともに、さらに実施例5に記載のプラズマ処理装置10Aと同様の効果を奏し、例えば装置のランニングコストを低減させる効果を奏する。
- [0106] また、冷却媒体混合器40と、冷却手段52を組み合わせることで、さらに冷却効率が向上し、処理ガス30の温度上昇を抑制する効果がさらに顕著になり、温度の安定性が向上する。
- [0107] また、冷却手段52の冷却方法は冷却水によるものに限定されず、例えばヒートポンプなどの熱交換手段、または他の冷却媒体による冷却など様々な方法を用いることが可能である。
- [0108] また、冷却媒体通路の形状や形成方法は、本実施例に示した形状に限定されるものではなく、必要となる冷却量に応じて、また装置の設計上の必要事項に応じて様々な変形・変更して用いることが可能である。
- [0109] 以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明は上記の特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した要旨内において様々な変形・変更が可能である。

#### 産業上の利用可能性

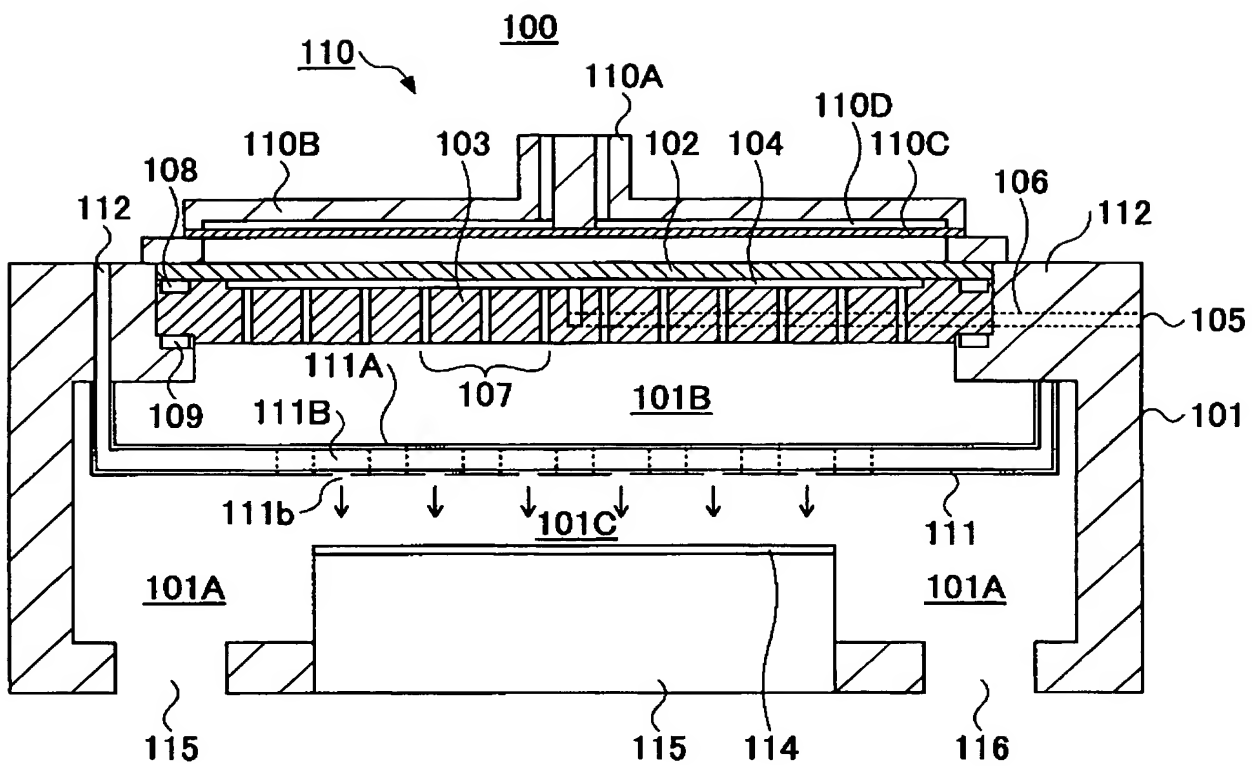
- [0110] 本発明によれば、マイクロ波プラズマを用いたプラズマ処理装置において、プラズマ処理装置の処理ガス供給部の冷却効率を向上させ、当該処理ガス供給部の温度上昇を抑制することが可能になる。
- [0111] また、プラズマ処理装置の処理ガス供給部の冷却にかかるコストを低減し、プラズマ処理装置のランニングコストを低減することが可能となる。

### 請求の範囲

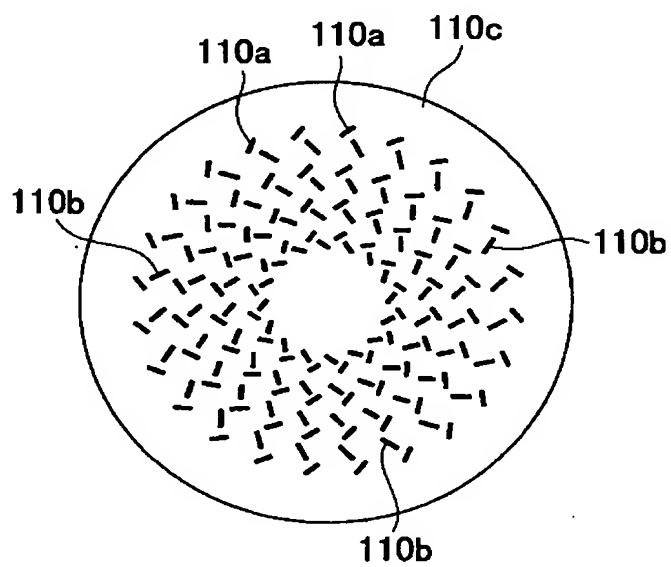
- [1] 被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、  
前記処理容器上に、被処理基板に対面するように設けられたマイクロ波アンテナと、  
前記保持台上の被処理基板と前記マイクロ波アンテナとの間に、前記被処理基板に対面するように設けられた処理ガス供給部とを備えたプラズマ処理装置であって、  
前記処理ガス供給部は、前記処理容器内に形成されたプラズマを通過させる複数の第1の開口部と、処理ガス源に接続可能な処理ガス通路と、前記処理ガス通路に連通した複数の第2の開口部と、当該処理ガス供給部を冷却する冷却媒体が流れる冷却媒体通路を備え、前記冷却媒体は冷却ガスとミストを含むことを特徴とするプラズマ処理装置。
- [2] 前記冷却媒体は、 $\text{SF}_6$ を含むことを特徴とする請求項1記載のプラズマ処理装置。
- [3] 被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、  
前記処理容器上に、被処理基板に対面するように設けられたマイクロ波アンテナと、  
前記保持台上の被処理基板と前記マイクロ波アンテナとの間に、前記被処理基板に対面するように設けられた処理ガス供給部とを備えたプラズマ処理装置であって、  
前記処理ガス供給部は、前記処理容器内に形成されたプラズマを通過させる複数の第1の開口部と、処理ガス源に接続可能な処理ガス通路と、前記処理ガス通路に連通した複数の第2の開口部と、当該処理ガス供給部を冷却する冷却媒体が流れる冷却媒体通路を備え、  
前記冷却媒体通路には、前記冷却媒体を循環させる冷却媒体循環装置が接続されることを特徴とするプラズマ処理装置。
- [4] 前記冷却媒体循環装置は、前記冷却媒体を冷却する冷却手段を有することを特徴とする請求項3記載のプラズマ処理装置。

- [5] 前記冷却媒体循環装置は、前記処理ガス供給部に設置された温度測定手段により計測された温度に基づき、前記冷却媒体による前記処理ガス供給部の冷却量を調整する冷却媒体調整手段を有することを特徴とする請求項 3 記載のプラズマ処理装置。
- [6] 前記冷却媒体調整手段は、前記冷却媒体の流量を調整する流量調整手段であることを特徴とする請求項 5 記載のプラズマ処理装置。
- [7] 前記冷却媒体調整手段は、前記冷却媒体の圧力を調整する圧力調整手段であることを特徴とする請求項 5 記載のプラズマ処理装置。
- [8] 前記冷却媒体通路の圧力を 0.2 ～ 1 MPa としたことを特徴とする請求項 7 記載のプラズマ処理装置。
- [9] 前記冷却媒体は冷却ガスとミストを含むことを特徴とする請求項 3 記載のプラズマ処理装置。
- [10] 前記冷却媒体は、 $\text{SF}_6$  を含むことを特徴とする請求項 3 記載のプラズマ処理装置。

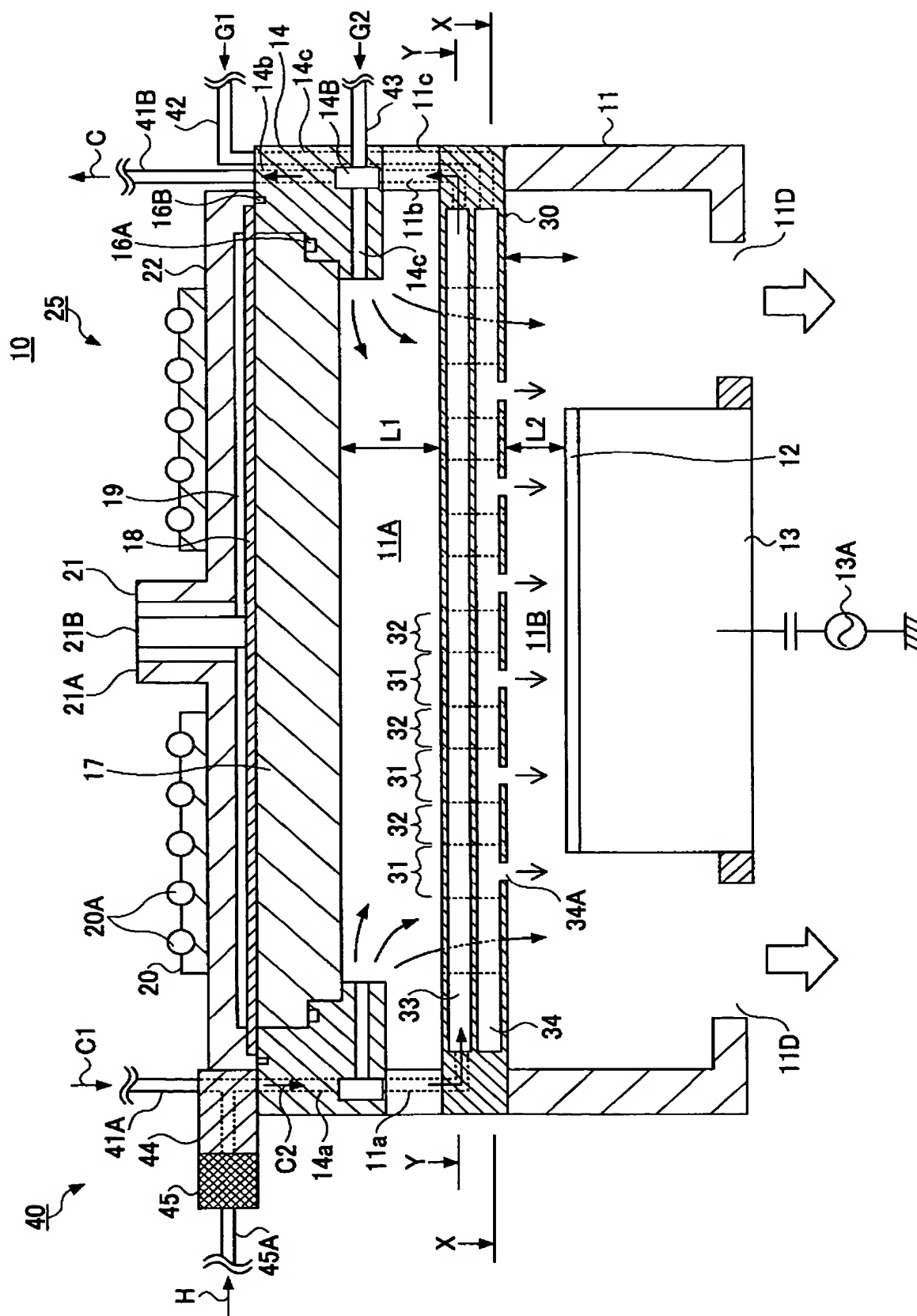
**[図1A]**



**[図1B]**

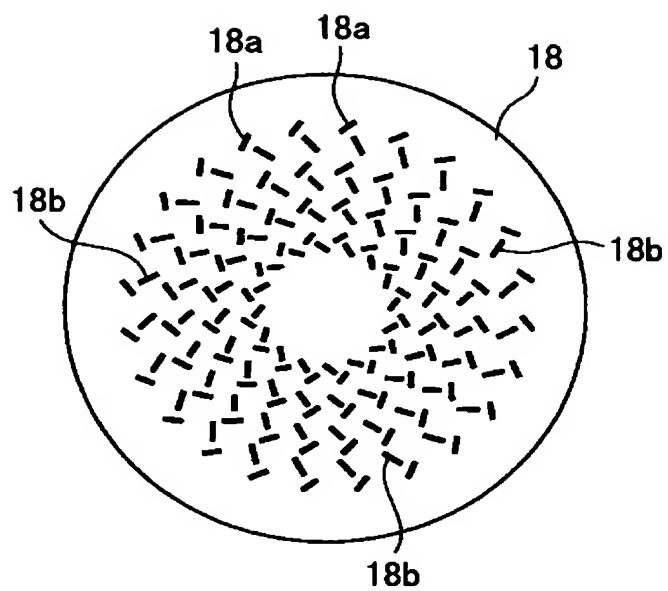


[図2]

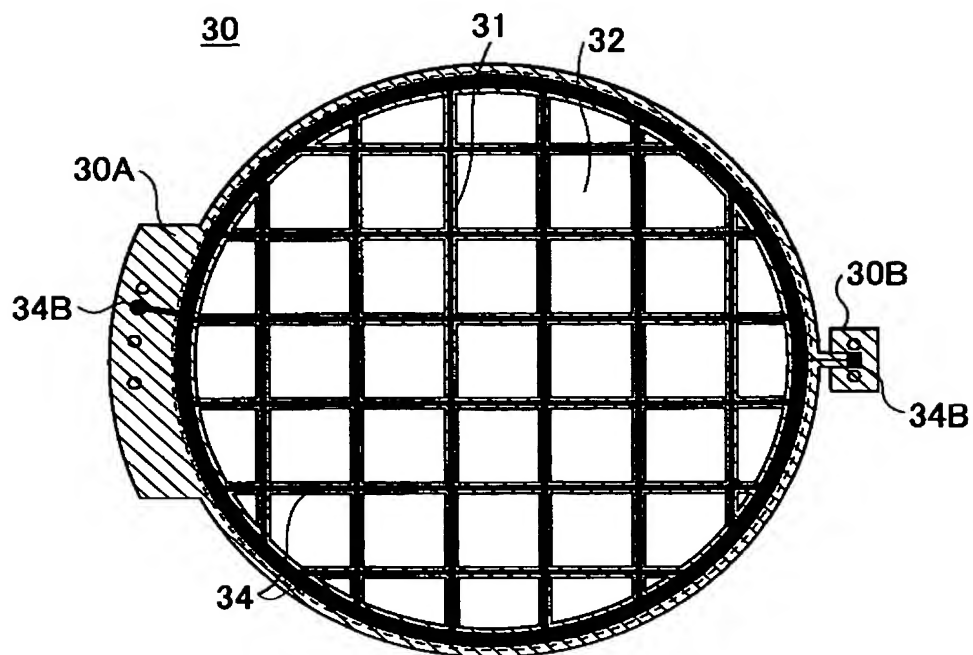




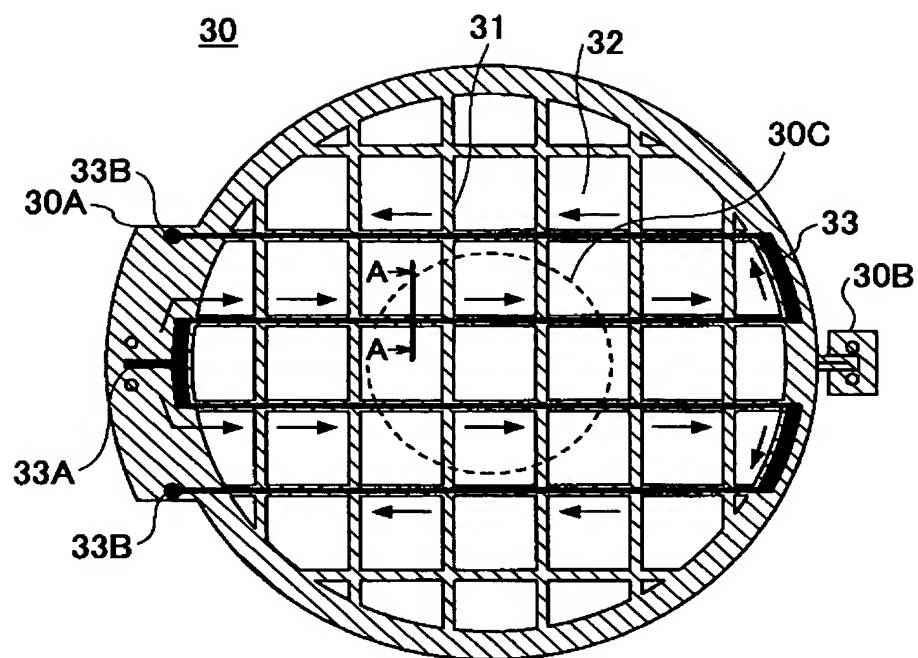
[図3]



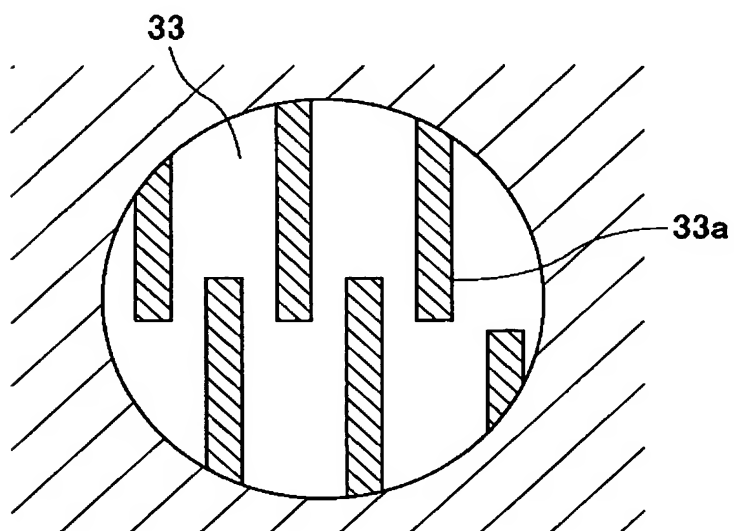
[図4A]



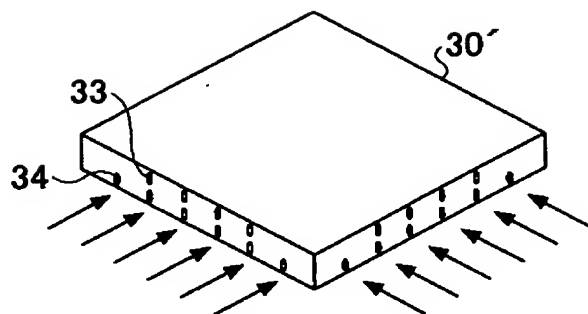
[図4B]



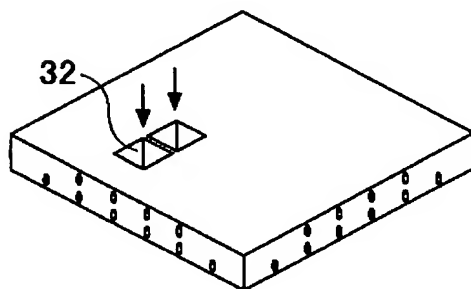
[図4C]



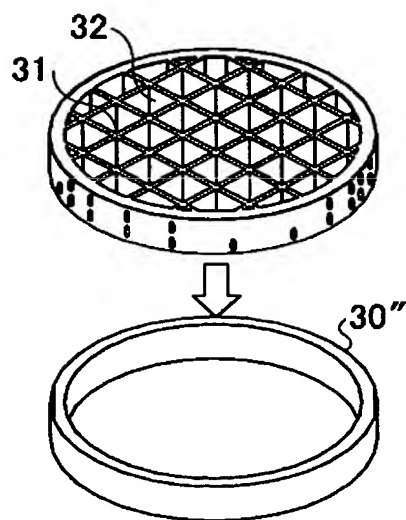
[図5A]



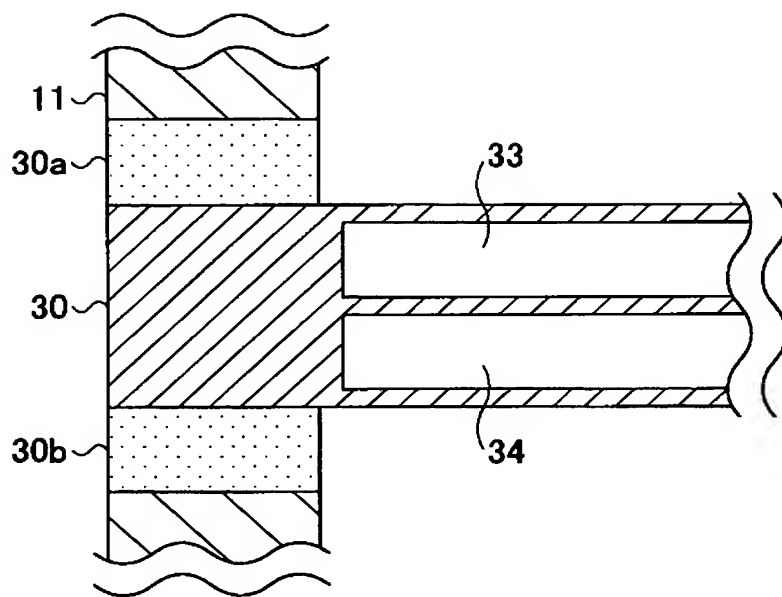
[図5B]



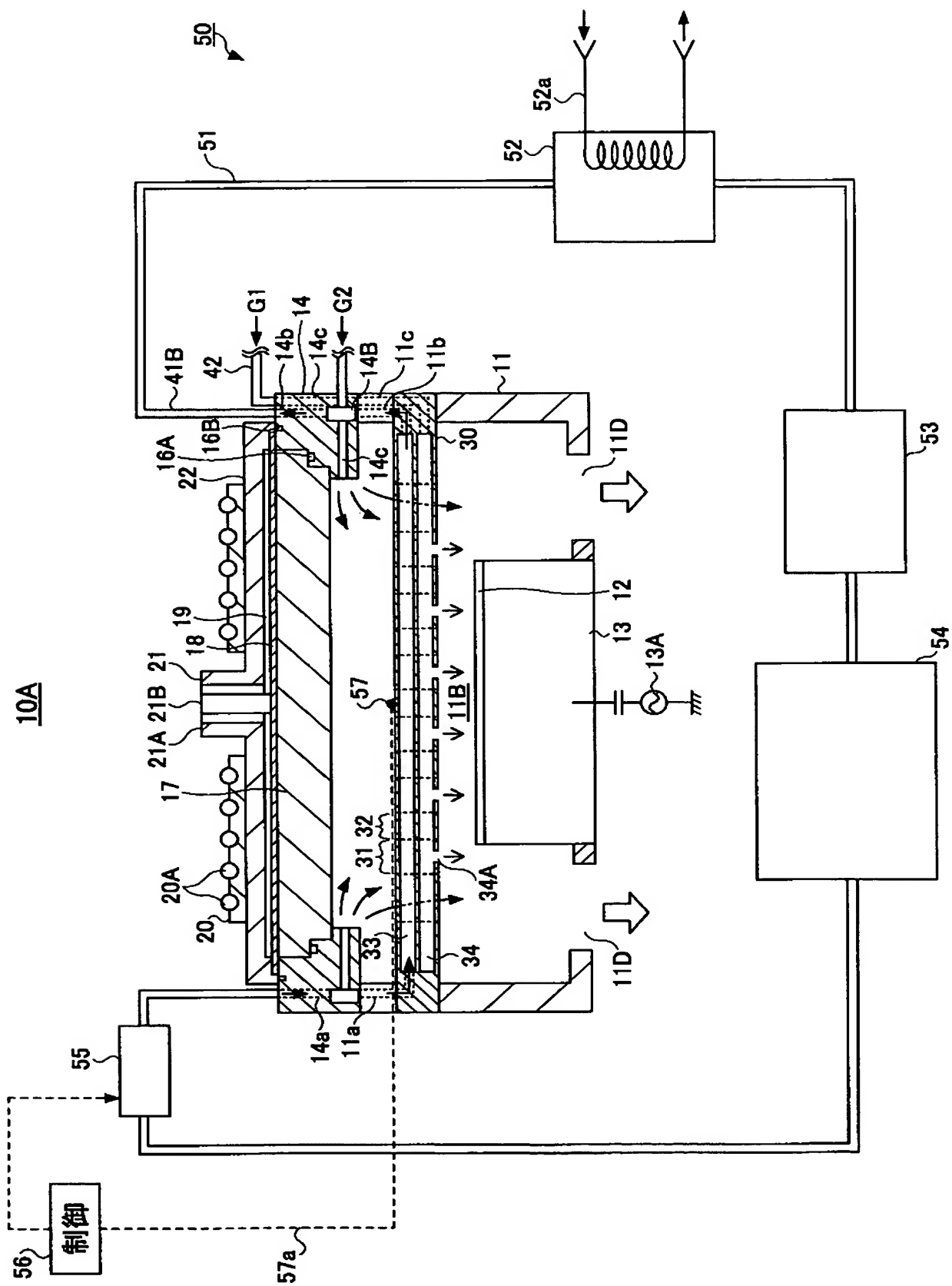
[図5C]



[図6]



[図7]



[図8]

